

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



INFORME DE TESIS

EFFECTO DEL METODO DE CONGELACION: RÀPIDA (NITROGENO LIQUIDO) Y LENTA (CONVENCIONAL), EN EL CONTENIDO DE VITAMINA C EN PIEL (Epicarpio) Y CASCO (Mesocarpio) LIOFILIZADO DE (*Pisidium guajava* L.) GUAYABA VARIEDAD ROJA.

(EFFECT OF FREEZING METHOD: FAST (LIQUID NITROGEN) AND SLOW
(CONVENTIONAL), IN THE CONTENT OF VITAMIN C IN SKIN (Epicarpio) AND
HELMET (Mesocarpio) LYOPHILIZED (*PISIDIUM GUAJAVA* L.) GUAYABA RED
VARIETY

AUTOR: Br. David Aminagat Callirgos Romero.

ASESOR: M.Sc. Jesús Alexander Sánchez González

TRUJILLO – PERÚ

2015

-i-

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EFFECTO DEL METODO DE CONGELACION: RAPIDA (NITROGENO LIQUIDO) Y LENTA (CONVENCIONAL), EN EL CONTENIDO DE VITAMINA C EN PIEL (Epicarpio) Y CASCO (Mesocarpio) LIOFILIZADO DE (*Pisidium guajava* L.) GUAYABA VARIEDAD ROJA.

(EFFECT OF FREEZING METHOD: FAST (LIQUID NITROGEN) AND SLOW
(CONVENTIONAL), IN THE CONTENT OF VITAMIN C IN SKIN (Epicarpio) AND
HELMET (Mesocarpio) LYOPHILIZED (*PISIDIUM GUAJAVA* L.) GUAYABA RED
VARIETY.

**INFORME DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

David Aminagat Callirgos Romero

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL HONORABLE JURADO:

PRESIDENTE : M.Sc. Julio Rojas Naccha

SECRETARIO : M.Sc. Paulino Ninaquispe Zare

MIEMBRO (ASESOR) : M.Sc. Jesús Alexander Sánchez González

DEDICATORIA

A Dios,
A mi Madre,
A mi padre,
A mi hija
A mi esposa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme desarrollar y culminar satisfactoriamente esta Investigación. Y por su gracia y amor que me ayudan a vivir confiado en su promesa de su pronto regreso.

A mi madre Vilma Romero Molina, por su amor, comprensión y apoyo en cada momento de mi vida, inspirando la motivación necesaria para cumplir con las metas trazadas.

A mi padre David Callirgos Vásquez, por su apoyo y la confianza depositada en mi persona.

A mi compañera y esposa Magdalena Vásquez Palomino, por brindarme su amor, confianza y por su apoyo constante.

A mi hija Astrid Callirgos Vásquez, por ser mi principal fuerza de motivación para ser cada día mejor persona y padre.

A mi Asesor de tesis el M.Sc. Jesús Alexander Sánchez Gonzales por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la tesis.

A la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo, por permitirme el acceso a sus instalaciones para la ejecución de mi tesis.

INDICE

RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y METODOLOGÍA	2
2.1. Material vegetal	2
2.2. Diseño experimental.....	4
2.3. Caracterización fisicoquímica del estado de madurez.....	5
2.3.1. Índice de madurez.....	5
2.3.2. Color instrumental.....	5
2.4. Cuantificación de Ácido Ascórbico.....	5
2.5. Determinación de porcentaje de Humedad	5
2.6. Rehidratación.....	5
2.6.1. Modelado matemático de la cinética de rehidratación.....	6
2.7. Análisis de datos	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
3.1. Índice de Madurez.....	6
3.2. Vitamina C.....	8
3.3. Rehidratación.....	12
3.4. Color	20
3.4.1. Croma y Tono.....	23
4. CONCLUSIONES	26
5. BIBLIOGRAFÍA.....	27
6. ANEXOS	30

RESUMEN

Se evaluó el efecto del método de congelación en el contenido de vitamina C en piel y casco de Guayaba Roja liofilizada. Se aplicaron dos métodos de congelación: Congelación rápida (por inmersión en nitrógeno líquido, -196°C) y congelación lenta (por enfriamiento convectivo en un Congelador, -30°C); la liofilización de las muestras congeladas, se realizó a presión de 0,16 mbar. Los tratamientos de congelación rápida-Liofilización (CR-L) y Congelación lenta-Liofilización (CL-L) generaron pérdidas del contenido de Vitamina C entre $69,64 \pm 0,43 \%$ y $73,98 \pm 0,30 \%$, respectivamente; existiendo diferencia entre los tratamientos. Las muestras liofilizadas se rehidrataron, en 100 mL de agua destilada a 20°C , a tiempos determinados; modelando la rehidratación por aplicación de los modelos de Page, Peleg y Azuara; mostrando todos un buen ajuste. El modelo de Page presenta dos etapas de rehidratación independientemente del tratamiento. Para las muestras rehidratadas de CL-L se obtuvieron los valores de humedad crítica de $1,03 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$ y para las muestras de CR-L valores de humedad crítica de $1,05 \text{ KgH}_2\text{O/Kg SS}$, afirmando de esta manera que las muestras de CR-L son las muestras con mayor capacidad de rehidratación. Los modelos de Peleg y Azuara indican que la capacidad de rehidratación (Humedad de equilibrio) en las muestras de CR-L es mayor que las muestras

de CL-L; indicando que la piel y casco se rehidrata alcanzado humedades de equilibrio de 1,14 Kg H₂O/ kg ss y 1,23 Kg H₂O/ kg ss en tiempos comprendidos entre 150 y 290 min, respectivamente. Además, se comprobó que el producto congelado con nitrógeno líquido y liofilizado experimenta un cambio de color, que permiten obtener un producto de mayor claridad; siendo el tratamiento de CR-L el que genera un cambio de color de $9,36 \pm 3,06$ entre el fruto fresco y deshidratado. Sin embargo no existe diferencia entre un tratamiento y otro, respecto al cambio de C*ab y h*ab.

Palabras clave: Piel y casco, Congelación, Liofilización, Rehidratación, Color.

ABSTRACT

The effect of freezing method in the content of vitamin C in skin and helmet Red Guava lyophilized was evaluated. two freezing methods were applied: Rapid freezing (immersed in liquid nitrogen, -196°C) and slow freezing (for convective cooling in a freezer, -30°C); Lyophilization of the frozen samples was carried out at 0.16 mbar pressure. The treatment of rapid-lyophilization freezing (CR-L) and slow-Freeze drying Freeze (CL-L) generated losses of Vitamin C content between 69.64 and $73.98 \pm 0.43\% \pm 0.30\%$, respectively; difference between treatments exist. Lyophilized samples were rehydrated in 100 mL of distilled water at 20, at predetermined times; rehydration modeling application models Page, Peleg and Azuara; showing everyone a good fit. The model has two stages Page rehydration regardless of treatment. For samples rehydrated CL-L values were obtained: critical humidity of 1.03 kg H₂O / kg SS, with $K_1 = 1.34$ and $N_1 = 0.05$ (first stage); $K_2 = 0.28$, $N_2 = 0.04$ (second stage). Well for samples of CR-L values they were obtained: 1.05 KgH₂O critical moisture / kg SS, with $K_1 = 1.41$ and $N_1 = 0.04$ (first stage); $K_2 = N_2 = 0.04$ and 0.86 (second stage), thus affirming the CR-L samples are samples with greater capacity for rehydration.

Peleg models indicate that Azuara and rehydration (equilibrium humidity) in the CR-L samples is greater than the CL-L samples; indicating hull skin and rehydrated reached equilibrium humidity of 1.14 kg H₂O / kg and 1.23 kg ss H₂O /

kg ss times between 150 and 290 min, respectively. Furthermore, it was found that frozen with liquid nitrogen and lyophilised product undergoes a color change, which can obtain a product of clarity; still the treatment of CR-L which generates a color change of 9.36 ± 3.06 between fresh and dried fruit.

Keywords: Leather and helmet, Freeze, Lyophilization, Rehydration, Color.

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez más el consumidor demanda productos con mayor calidad, desde un punto de vista sensorial como nutricional. Se busca que el alimento realice funciones nutricionales y pueda aportar beneficios para la salud e incluso prevenga enfermedades. De los alimentos más demandados en la actualidad, están los vegetales y frutas, aunque dentro de estas últimas las frutas de la familia de las Myrtaceae como la Guayaba que no cuenta con el impulso agroindustrial para su comercialización en el Perú. Esta fruta se destaca por ser beneficioso para la salud, debido a su contenido de vitaminas, especialmente las que actúan como antioxidantes (Vitamina C).

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es un fruto nativo del Perú, aun cuando no se tienen plantaciones establecidas, y el agricultor deja a la guayaba que crezca en los linderos ya que su madera es cotizada para utilizar como leña (combustible). Así también es utilizada para el procesamiento artesanal de jugos, néctares y rellenos para dulces, sin conocer su verdadero valor nutricional y antioxidante, sin embargo también se elimina gran cantidad de residuos comprendidos entre la Piel y el Casco cuyo valor antioxidante es importante. (Ordoñez et al., 2012).

De esta manera es importante revalorar las propiedades nutraceuticas de la Piel y Casco de Guayaba variedad roja, que aún conserva características nutricionales y prebióticas las cuales se pueden conservar a través de la aplicación de tratamientos tecnológicos como la Liofilización, con la finalidad de conservar en mayor proporción la calidad del alimento y

promover el aprovechamiento máximo de los productos agroindustriales. Este proyecto de investigación tiene por objetivo evaluar el efecto del método de congelación: rápida (nitrógeno líquido) y lenta (convencional), en el contenido de Vitamina c en piel y casco liofilizado de (*Psidium guajava* L.) guayaba variedad roja. El proceso de congelación rápida permite obtener un producto congelado con un menor daño estructural y la liofilización en alimentos ayuda a conservar las características organolépticas y nutritivas de los alimentos.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Material vegetal

Los frutos de guayaba variedad Roja fueron clasificados taxonómicamente por el United States Department of Agriculture (USDA, 2010) como *Psidium guajava* L (Figura 1). Los frutos fueron cosechados en estado maduro; se realizó una selección visual por observación del color de la cáscara (González Cárdenas, 2010) y sanidad del fruto (sin picadura, ni aguachentas); del Centro Poblado Chaparral, en la Provincia de Chepén. Los frutos fueron sumergidos en un recipiente de plástico con una solución de lejía al 5 % de hipoclorito de sodio a razón de 10 gotas en un litro de agua potable para su desinfección según lo recomendado por la DIGESA. (Dirección General de Salud Ambiental, 2011).



Figura 1. Fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L) variedad Roja; Centro poblado Chaparral – Chepén – La libertad.

Las guayabas fueron cortadas en rodajas, se separó la pulpa de la baya (parte comestible) de la piel y casco. La fracción comprendida por piel y casco se empleó para los análisis fisicoquímicos, se cortó en forma de paralelepípedo (tiras) y fue convertida en materia de estudio.

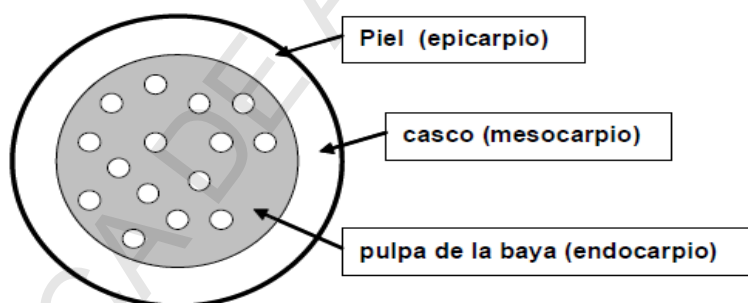


Figura 2. Fracciones de un corte de guayaba, desde la parte más externa hacia el centro de la fruta (piel, casco, pulpa de la baya, Marquina, et al., 2008).

Se escaldó por un tiempo de 30 s en un recipiente de aluminio conteniendo agua a temperatura de 95 °C (Millan, Restrepo, y Narvaéz, 2007). Luego se congeló por dos métodos: Congelación rápida (CR) con Nitrógeno líquido y Congelación lenta (CL) en un congelador. Las muestras congeladas fueron puestas en platos de plásticos,

estos a la vez dentro del liofilizador marca Labconco en bandejas de metal, donde se aplicó una presión de vacío de 0.16 mbar.

2.2. Diseño experimental

Con el fin de evaluar con validez estadística el efecto del proceso de CR y CL sobre las diferentes variables de respuesta en piel y casco de guayaba liofilizado, se empleó un diseño experimental con 2 tratamientos (método de congelación: rápida (N₂ líquido) – Liofilización (CR-L) y lenta (Convencional) – Liofilización (CL-L). La metodología experimental empleada en el desarrollo de la investigación, se presenta a continuación:

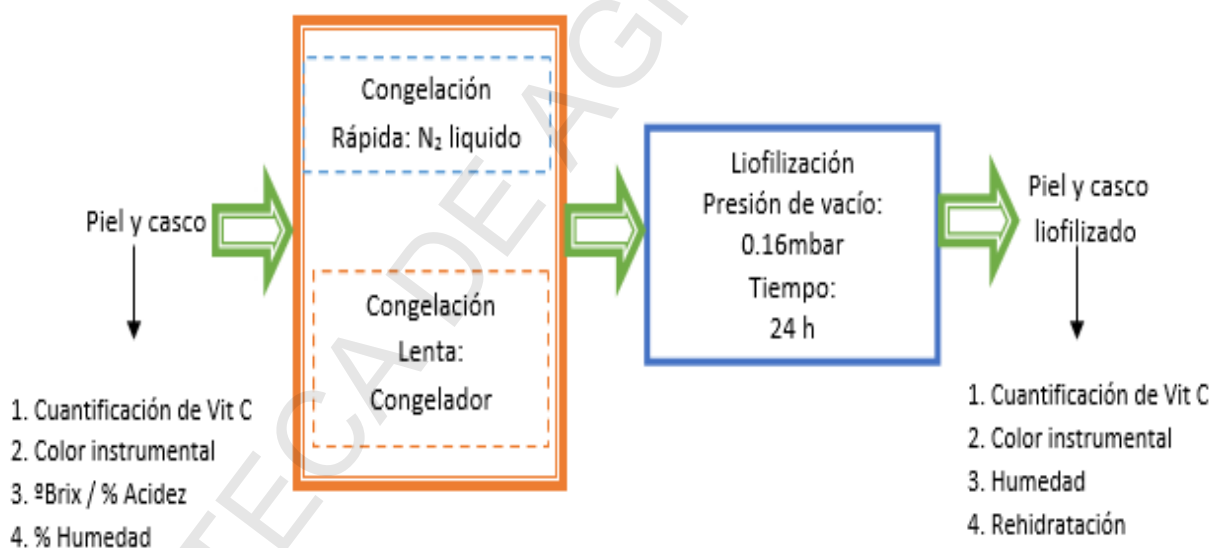


Figura 3. Metodología experimental general para el estudio del efecto del método de congelación en el contenido de Vitamina C de pulpa de (*Pisidium guajava* L.) Guayaba.

2.3. Caracterización fisicoquímica del estado de madurez

2.3.1. Índice de madurez.

Se calculó, según Espinal Ruiz (2010), revisar anexo 1.

2.3.2. Color instrumental

Se midió por colorimetría, según González Cárdenas (2010), anexo 2.

2.4. Cuantificación de Ácido Ascórbico

Se cuantifico por método de Titulación, AOAC 967, 21 (AOAC, 2000), anexo 3.

2.5. Determinación de porcentaje de Humedad

Se midió por métodos gravimétricos, anexo 4.

2.6. Rehidratación

La rehidratación de la fracción de piel y casco liofilizado, se realizó sumergiendo muestras liofilizadas en ,un vaso de precipitación conteniendo 100 mL de agua destilada, por los siguientes tiempos: 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 110, 150, 210, 290, 370 minutos, respectivamente, considerando lo estudiado por Arias (et al., 2013). Para determinar cada una de las constantes cinéticas de rehidratación se pesaron las muestras de la piel y casco liofilizado en una balanza de precisión marca Radwag.

2.6.1. Modelado matemático de la cinética de rehidratación

Para el modelado matemático de la transferencia de agua (Vasquez, et al., 2007) ocurrida durante el proceso de rehidratación se emplearon los modelos de Page, Peleg y Azuara; estos se muestran en el anexo 5.

2.7. Análisis de datos

Todas las medidas fueron realizadas por triplicado, se empleó el promedio como medida de centralización y la desviación estándar (D.E.) como medida de dispersión. Para evaluar las diferencias específicas entre los valores de cada uno los parámetros evaluados se usó la prueba de t Student para muestras independientes con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; utilizando el programa estadístico SPSS 22.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Índice de Madurez

La caracterización fisicoquímica del fruto de guayaba variedad roja (Figura 4) empleado en los tratamientos CR-L y CL-L., fue realizada mediante la medición del índice de madurez ($^{\circ}$ Brix/ Acidez (%)) sobre la piel y casco.



Figura Nº 4. Fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L) variedad Roja

Los frutos fueron cosechados en estado maduro, Figura Nº 4; esto se realizó por una selección visual del color de la cáscara (González Cárdenas, 2010). Espinal Ruiz (2010) observó que la corteza de Guayaba Palmira Ica I era de color verde en el estado de madurez verde, pasando por el color amarillo en los estados pintón y maduro, llegando al color café en el estado senescente. Además afirma que los cambios de color de los frutos pueden ser empleado como un factor indicativo del proceso de maduración normal de los frutos de guayaba, y permite correlacionar el cambio de color con la aparición de características funcionales como la actividad antioxidante debido a la aparición de compuestos como los carotenoides, las antocianinas y aumento en contenido de Vitamina C.

El anexo 6, muestra los valores obtenidos para índice de madurez, los cuales fueron analizados estadísticamente, infiriendo que el estado de madurez de la materia prima utilizadas en los tratamientos CR-L y CL-L no tienen una diferencia significativa ($\alpha=0,05$). Esto asegura que cualquier diferencia en los

valores presentados por las variables respuestas, se deben al tipo de tratamiento realizado.

3.2. Vitamina C

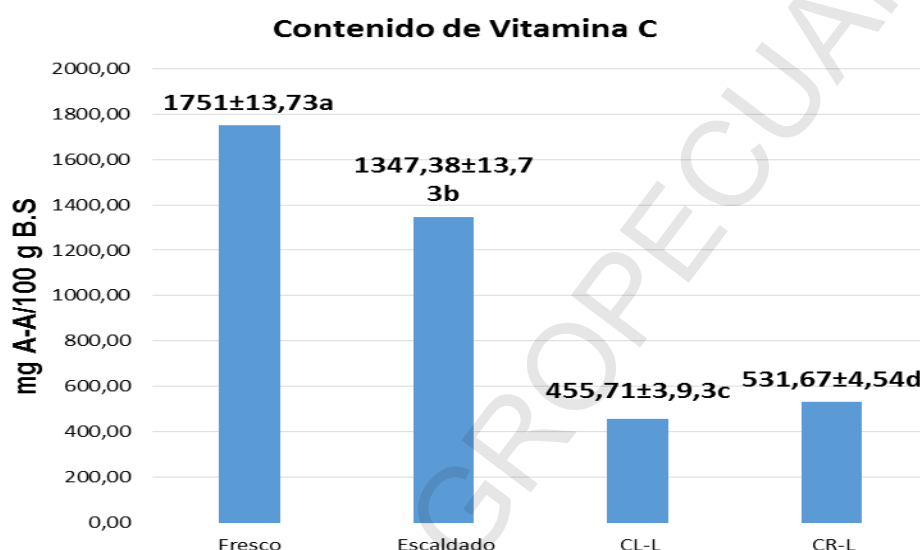


Figura Nº 5. Valores de Vitamina C en Piel y Casco de Guayaba Roja, en fresco, escaldado, congelación lenta-liofilización (CL-L) y congelación rápida-liofilización (CR-L). Promedio media (n=3) ± D.E. Gráficamente, letras diferentes indican diferencias significativas en los valores de las medidas realizadas.

La cuantificación del contenido de vitamina C se realizó en fresco, escaldado, CL-L y CR-L, para así poder determinar los efectos de cada proceso sobre el contenido de Vitamina C en piel y casco de guayaba.

Existen valores de $147,72 \pm 1,00$ Vitamina C (mg / 100 g fruta) en el estado maduro de Guayaba Palmira Ica I (Espinal Ruiz, 2010); $553,50 \pm 2,95$ Vit. C (mg/ 100 g BS) de Guayaba Pera (González Cárdenas, 2010), así también Gómez (1996) indica que la guayaba colombiana presenta un alto contenido de vitamina C, alrededor de 200 a 240 mg por 100 g de parte comestible de la

fruta, para la guayaba blanca y rosada, y 74 mg para la guayaba Palmira ICA-I; estos valores son distintos al encontrado en esta investigación : $1751,60 \pm 13,73$ en 100 g B.S en piel y casco, esto se debe a que la cuantificación se hizo en piel y casco, pero este valor si corrobora los mencionado por (Marquina, et al., 2008) quien menciona que la capacidad antioxidante de la piel es diez veces superior a la de la pulpa y la de la mermelada de guayaba el doble que la del casco. Pérez Gutierrez, et al., (2008) afirma que la cantidad de vitamina C presente en la guayaba varía sustancialmente en las diferentes partes de esta, teniendo su porcentaje más alto en la piel, seguido por la pulpa firme (casco) y disminuyendo en la pulpa central donde se encuentran las semillas. Por tanto la piel y no el casco aportan la mayor cantidad de vitamina C.

Las tiras de piel y casco durante el escaldado pierden su contenido de Vitamina C en un $23.07 \pm 1,21$ % (Anexo N° 7). Esto es advertido por (Rosenthal, 2001) quien asegura que el escaldado trae consigo problemas como: sabor a cocido, degradación de ácido ascórbico (Vitamina C), daño en la textura.

Millan, Restrepo y Narvaéz (2007) escaldaron pulpa de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught) reportando una pérdida de 26% en Vitamina C en pulpa escaldada durante 7 min a 92 °C; valor próximo al reportado en la Figura N° 5, donde al aplicar la misma técnica de escaldado a un tiempo de 30 s y temperatura de 95°C, la pérdida de vitamina C es de $23.07 \pm 1,21$ %.

Las tiras de piel y casco escaldadas designadas a congelación lenta, fueron congeladas en un congelador durante 48 h a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego liofilizadas por 24 h. La figura N° 5 muestra el contenido de Vitamina C en 100 g de muestra liofilizada; correspondiendo $531.67 \pm 4,54$ mg a la muestra que fue sometida a CR-L, siendo este valor superior al de $75,95 \pm 2,27$ mg de ácido ascórbico correspondiente al de muestra sometida a CL-L; existiendo diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre ambas.

La pérdida de vitamina C por CL-L es de $73,98 \pm 0,3$ y $66,18 \pm 0,17$ (Anexo N° 7) respecto al contenido en piel y casco de guayaba; en fresco y escaldado, respectivamente. Por otro lado esta notable pérdida de Vitamina C se debería a que la temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizada para congelar no fue la adecuada, ya que al ser la temperatura de congelación más cercana a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ la congelación se produce de forma más lenta, lo que permite la formación de pocos y grandes núcleos, generando rupturas en la pared celular, salida de agua de la célula y nutrientes disueltos en ella, lo que hace más susceptibles a la Vitamina C de degradación (Muñoz Delgado, 1985).

En el caso de las muestras de piel y casco sometidas al tratamiento CR-L presentaron una pérdida de $69,64 \pm 0,43$ y $60,54 \pm 0,07$ (Anexo N° 7) respecto al contenido de Vitamina C en fresco y escaldado, respectivamente. Vásquez-Osorio (et al., 2013) Liofilizo guayaba para luego de haber congelado la materia prima en un congelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 6 y 24 h, reportando resultados de 76,11 y 63,38 % en pérdida contenido de Vitamina C en la harina de Guayaba. Con esta referencia se infiere que el exponer un

fruto a una temperatura muy baja ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) por un corto tiempo conservaría en menor cantidad Vitamina C; por tanto el alto gradiente térmico presentado entre el nitrógeno líquido ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la piel y casco de Guayaba roja produjo la pérdida de Vitamina C durante el tratamiento CR-L.

En tanto existe diferencias significativas $\alpha=0,05$ en el contenido de Vitamina C en cada uno de los tratamientos; aunque ninguno de los dos estadísticamente resultó ser un buen proceso para su conservación. Se debe considerar también que el índice de madurez entre los frutos utilizados en congelación lenta y rápida, no difieren significativamente ($\alpha=0,05$), por tanto se evidencia que el método de congelación presentó un efecto directo respecto de la cantidad de vitamina C presente en la piel y casco de guayaba deshidratada ya que a mayor velocidad de congelación, mayor es la cantidad de Vitamina C que permanece en la fruta, efecto similar se presentó en la liofilización de la guanábana (Ceballos, et al., 2012) y en el caso de las moras, la velocidad de congelación también presentó efecto en el contenido final de vitamina presente en esta, ya que entre más rápida la congelación, mayor el contenido de vitamina C que se conservó en la muestra (Randelovic, et al., 2008), sin embargo este comportamiento no puede generalizarse todas las frutas ya que en la deshidratación de frambuesas españolas, se reporta que la congelación no presentó efecto significativo en la cantidad de vitamina C presente (Ancos, et al., 2000).

3.3. Rehidratación

Posteriormente a la liofilización, se realizó la rehidratación de la fracción de piel y casco. La humedad final de la muestra deshidrata fueron de 0.14 y 0.12 g.agua/g.ms para los tratamiento de CR-L y CL-L, respectivamente. Mosquera (et al., 2012) al liofilizar rodajas de naranja, experimento que el tratamiento con menor velocidad de congelación (LFL) alcanza menor contenido de humedad que el tratamiento LFN (congelación con nitrógeno líquido) al final del secado con $0,0838 \pm 0,0300$ y $0,2680 \pm 0,0493$ g.agua/g.m.s, respectivamente. Esto se debe al mayor tamaño, del cristal de hielo formado por la baja velocidad de congelación, que al sublimarse extrae mayor humedad. El nivel de la velocidad de congelación influye en el tamaño del poro, a menor velocidad mayor tamaño del poro, que después de la sublimación del hielo presenta mayor flujo de masa durante la deshidratación (Ceballos, et al., 2012)

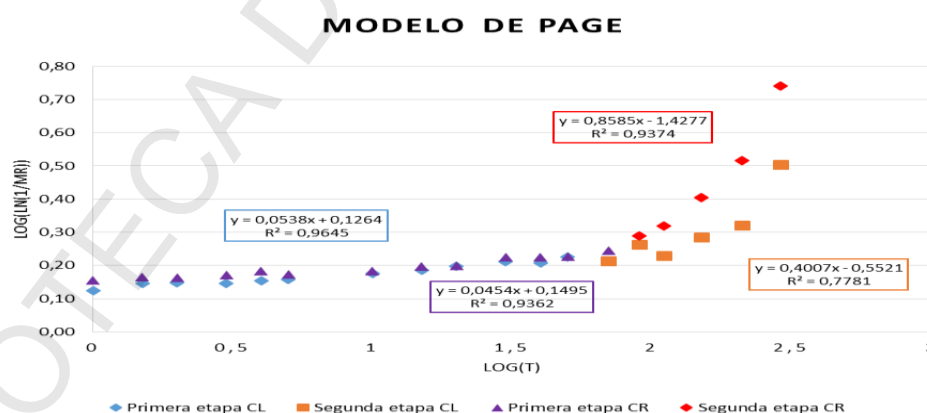


Figura Nº 6. Aplicación de la ecuación de Page a los valores experimentales de las muestras liofilizadas, previa congelación con nitrógeno (CR) y congelación convencional (CL).

La representación de $\text{Log} (\text{Ln}((X_{wt} - X_{we})/(X_{wo} - X_{we})))$ versus $\text{Ln}(t)$; grafica N° 2, permite identificar dos tramos que se corresponden a los dos periodos de velocidad de rehidratación creciente independientemente del tratamiento (CR-L y CL-L), y cuyo punto de corte define un valor de humedad crítico (X_{wc}) correspondiente a un tiempo crítico (t_c), a partir del cual la velocidad de rehidratación crece con mayor rapidez; existen muchos estudios en secado de alimentos donde se aplica el modelo de Page, Vega y Lemus (2006) y (Contreras, 2006), muestran un comportamiento de secado similar (dos etapas) en el secado de Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*) y manzana (var. Granny Smith), al de rehidratación mostrado en esta investigación. La Tabla N° 1 recoge los valores medios obtenidos para las constantes cinéticas, la humedad y el tiempo críticos.

Tabla N° 1. Valores de Humedad de critica (X_{wc}) y constantes K y N del modelo de Page, para muestras rehidratadas CL-L (congelación lenta - liofilización) y CR-L (congelación rápida – liofilización)

Tipo de tratamiento	X_{wc} (Kg agua/Kg ms)	t_c (h)	$t \leq t_c$			$t > t_c$		
			K_1 (h ⁻¹)	N_1	R^2	K_2 (h ⁻¹)	N_2	R^2
CL-L	1,03	0,83	1,34	0,05	0,96	0,28	0,04	0,78
CR-L	1,05	1,17	1,41	0,04	0,94	0,04	0,86	0,94

El comportamiento de rehidratación para las muestras de ambos tratamientos es el mismo y tienen valores de R^2 muy cercanos a la unidad, lo que indica un buen ajuste de los datos experimentales a la ecuación

empírica de Page para esta primera etapa, también se resalta que el tiempo y humedad crítico es de 1,17 h (CR-L) y 0,83 h (CL-L), a estas condiciones existe una ganancia de agua del 79,17% y 80,17% (Anexo 8) para CR-L y CL-L respectivamente. A pesar de la mínima diferencia humedad crítica, en el tratamiento CR-L se obtiene una mayor capacidad de absorción de agua y esto se corrobora con el valor de K_1 , pues es mayor (Contreras, 2006) que el K_1 del tratamiento CL-L; por esto las muestras CR-L necesitan un mayor tiempo para alcanzar el punto de inflexión (Figura N° 6); esto indica que las muestras CL-L al sufrir un mayor daño estructural por congelación absorber más rápido el agua del medio de rehidratación.

La segunda etapa comienza con las muestras alcanzando más del doble del peso inicial (Anexo 8). En esta etapa se observa un aumento en el proceso de rehidratación, es así como los valores de K disminuyen, mientras que los de N se mantienen aproximadamente iguales a los de la primera etapa. Sin embargo, el modelo empírico de Page muestra un buen ajuste para las primeras etapas de los dos tratamientos, en la segunda etapa muestra un buen ajuste solo para las muestras de CR-L.

La capacidad de absorción de agua de productos biológicos está relacionada con el tipo de material, ultraestructura y composición de las células (García-Pascual, 2005). Es así como la variación de las constantes de rehidratación se relacionan con los cambios químicos o físicos de la estructura sufridos por el material durante el secado, y de acuerdo a los valores obtenidos se puede decir que es dependiente del tipo de proceso.

Por otro lado en cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación Marin (et al., 2006) mencionan que el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua; de esta manera la única manera de explicar el aumento de absorción de agua en la segunda etapa demostrada por el modelo de Page, se debería a la capacidad de hinchamiento (Vásquez-Osorio, et al., 2013) de la piel y casco deshidratado.

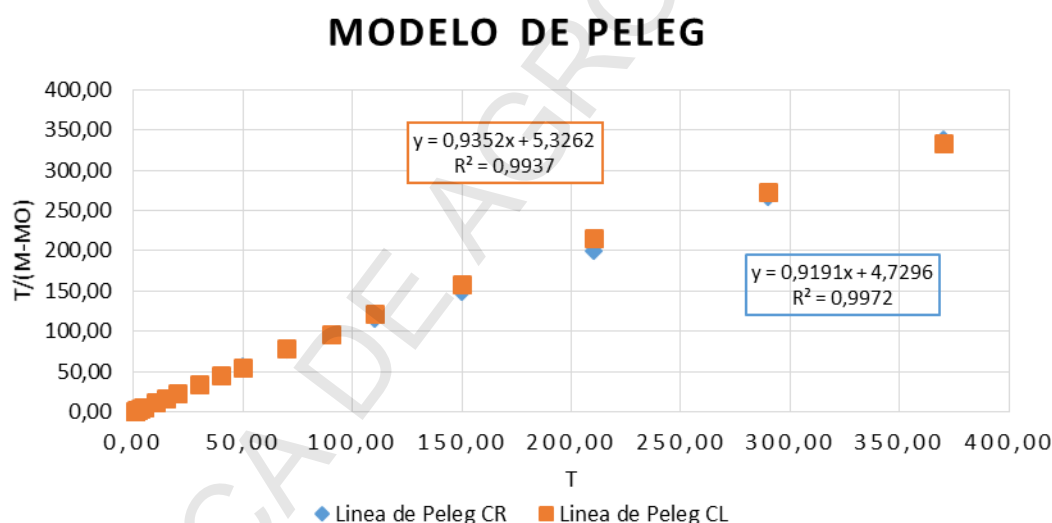


Figura Nº 7. Aplicación de la ecuación de Peleg a los valores experimentales de las muestras liofilizadas, previa congelación con nitrógeno (CR) y congelación convencional (CL).

Se aplicó el método de Peleg, ecuación (2), en las muestras liofilizadas sometidas a CR-L y CL-L, para determinar los valores de las constantes de Peleg (K_1 y K_2) (Sanjuán, et al., 1999).

Tabla N° 2. Valores de Humedad de equilibrio (X^*) y constantes K_1 y K_2 del modelo de Peleg, para muestras rehidratadas CL-L (congelación lenta - liofilización) y CR-L (congelación rápida – liofilización)

Tipo de tratamiento	T (°C)	K_1 (h.Kg ss/ Kg H ₂ O)	K_2 (h.Kg ss/ Kg H ₂ O)	X^* (kg H ₂ O/kg ss)	R^2
CR- L	20	0,01516	5,0914	1,14	0,99
CL- L	20	0,01567	5,3555	1,11	0.99

Al linealizar la expresión de Peleg (ecuación 2) se obtiene una representación como la Figura N° 7 , obteniéndose de la ordenada en el origen, el valor del parámetro cinético K_1 y a partir de la pendiente el término K_2 presentados en la Tabla N° 2. Según los indicadores estadísticos, el modelo de Peleg describe adecuadamente la rehidratación de la Piel y Casco de Guayaba liofilizado, presentando para los tratamientos de CR-L y CL-L, valores de R^2 cercanos a la unidad.

En el caso de la Humedad de equilibrio, calculada con la (ecuacion 3) , se observa que las muestras CR-L tienen una mayor capacidad de abosorcion de agua finalizado el proceso de rehidratacion ($T= 20^{\circ}\text{C}$), esto se deberia al menor daño estructural que sufre la piel y casco de guayaba durante la congelación.

Vasquez, (et al., 2007) modelaron con la ecuacion de Peleg, la rehidratacion de zanahorias deshidratadas, afirman que a mayor temperatura de rehidratacion el valor de K_1 disminuye y el valor K_2 aumenta. Según

(Peleg, 1988; Turhan et al., 2002) para un proceso de rehidratación, un valor bajo de K_1 implica una alta velocidad inicial de absorción de agua. Por otra parte, un valor bajo de K_2 , implicaría una alta capacidad de absorción de agua. Esto muestra que los cambios físicos y estructurales que pudieron generarse en las muestras durante la congelación (CR y CL), causan efecto en la rehidratación; aunque todo indicaría a que la variable más importante a evaluar en una rehidratación es la temperatura del líquido rehidratante. Por consiguiente la constante K_1 es un parámetro cinético que va a depender de la temperatura de rehidratación y K_2 es una constante característica propia de cada alimento con la que se define el contenido en humedad de equilibrio. En todo caso el método de congelación no causa un efecto significativo, según el modelado de Peleg en el proceso de absorción de agua en las muestras secas de piel y casco de guayaba.

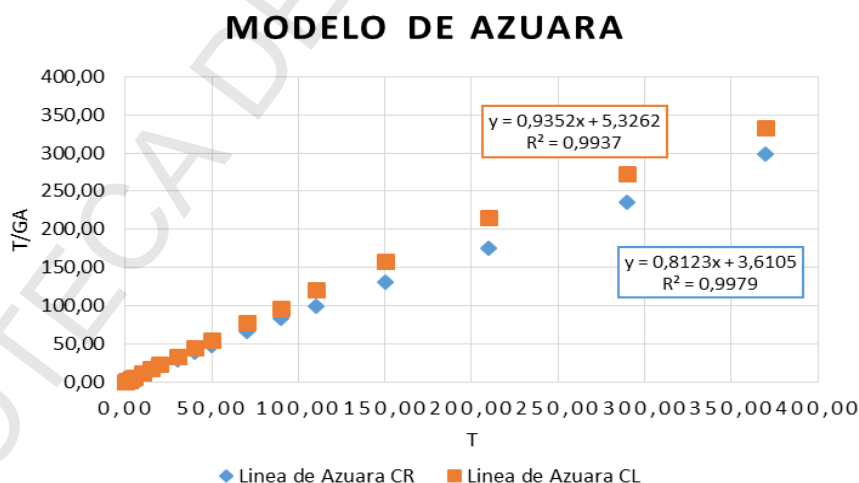


Figura N° 8. Aplicación de la ecuación de Azuara a los valores experimentales de las muestras liofilizadas, previa congelación rápida (CR) y congelación lenta (CL).

Se aplicó la ecuación de (Azuara, et al., 1992) en el tiempo t y para placa infinita. Las muestras deshidratadas de piel y casco, en forma de paralelepípedo, se consideraron como una placa de 1 cm de lado.

Tabla N° 3. Valores de Ganancia de agua en el equilibrio (GA_{∞}) y constantes S_1 del modelo de Azuara, para muestras rehidratas CL-L (congelación lenta - liofilización) y CR-L (congelación rápida - liofilización)

Tipo de tratamiento	T (°C)	GA_{∞} (kg H ₂ O/kg ss)	S_1 (1/s)	R^2
CR- L	20	1,23	$3,75 \times 10^{-3}$	0,99
CL- L	20	1,07	$2,93 \times 10^{-3}$	0.99

En la Tabla N° 3 se muestran una diferencia en ganancia de agua en el equilibrio (GA_{∞}) y en la constante relacionada con ganancia de agua (S_1) para los tratamientos CL-L y CR-L. Las muestras obtenidas por CR-L muestra valores mayores de GA_{∞} a comparación de las muestras tratadas por CL-L; lo que indica una mejor capacidad de absorción en las muestras de CR-L, pues su humedad de equilibrio es alcanzada en un tiempo menor y a la misma temperatura de rehidratación (20 °C).

Vasquez et al. (2007) rehidrataron Zanahoria afirmando que existe influencia de los procesos previos de deshidratación sobre el de rehidratación. Por tanto los valores y/o constantes de rehidratación obtenidos son influidos por el tipo de tratamiento (CR y CL) previo aplicados a las muestras antes de su deshidratación.

Tabla N° 4. Valores de Humedad de equilibrio, tiempo y Difusividad efectiva (D_{ef}); determinados por los modelos de Peleg y Azuara, para muestras rehidratadas CL-L (congelación lenta - liofilización) y CR-L (congelación rápida – liofilización)

Modelo Matemático	CL			CR		
	X^*	T (min)	D_{ef} (m^2/s)	X^*	T (min)	D_{ef} (m^2/s)
Peleg	1,11	210	$1,19 \times 10^{-9}$	1,14	150	$1,19 \times 10^{-9}$
Azuara	1,07	150	$2,68 \times 10^{-9}$	1,23	290	$4,43 \times 10^{-9}$

Existen estudios que demuestran que el proceso de absorción puede ser considerado como un mecanismo difusional (Sanjuán, et al., 1999) por lo tanto el coeficiente de difusión puede ser determinado por la segunda Ley de Fick. Se obtuvieron los valores de D_{ef} por el modelo de Peleg, mostrados en la Tabla N° 4, que indican que las muestras de CL-L y CR-L, absorben agua en las mismas condiciones difusionales ($1,19 \times 10^{-9} m^2/s$). Sin embargo, las muestras de CR-L alcanzan una humedad de equilibrio mayor y en menor tiempo que las muestras de CL-L; esto indica que las muestras de CR-L, tienen una menor resistencia a la transferencia de masa.

Para la determinación de D_{ef} con el modelo de Azuara, fue necesario relacionarlo con el modelo de Crank para una placa infinita; obteniendo valores de $2,68 \times 10^{-9} m^2/s$ y $4,43 \times 10^{-9} m^2/s$ para CL-L y CR-L, respectivamente. Existen estudios sobre rehidratación de Zanahoria como por

ejemplo: (Vasquez, et al., 2007) reporta valores de difusividad de $1,584 \times 10^{-10}$ m²/s en rehidratación a 25 °C, así también (Melquíades, et al., 2009) determino la difusividad de $3,46 \times 10^{-10}$ m²/s para rehidratación a 40 °C. Estos valores son menores a los determinados en esta investigación; esto se debe a que existe influencia del tratamiento que se realiza sobre la materia prima, sobre la cinética de rehidratación y de su influencia en los coeficientes de difusión (Melquíades, et al., 2009).

Las muestras de CR-L y CL-L, alcanzan una humedad de equilibrio igual a 1,23 kg H₂O/ kg ss y 1,07 kg H₂O/ kg ss, respectivamente. Sin embargo las muestras de CR-L alcanzan una mayor rehidratación, en el doble de tiempo que las muestras de CL-L.

Por tanto los modelos de Peleg y Azuara indican que la capacidad de rehidratación (Humedad de equilibrio) en las muestras de CR-L es mayor que las muestras de CL-L; así mismo la piel y casco se rehidrata alcanzado humedades de equilibrio de 1,14 Kg H₂O/ kg ss y 1,23 Kg H₂O/ kg ss en tiempos comprendidos entre 150 y 290 min.

3.4. Color

Para el análisis de color externo de piel y casco de guayaba se utilizó un colorímetro. En el anexo N° 6 se presentan los parámetros de color obtenidos en cada etapa del proceso, según el sistema CIELAB.

La guayaba es un fruto climatérico, a medida que madura, cambia el color de su piel, desde un color verde a un amarillo, el anexo N° 9 , muestra que el

valor de luminosidad es de $69,84 \pm 2,99$ y $69,54 \pm 2,39$ para las muestras sometidas a los tratamientos CL-L y CR-L, respectivamente; valores parecidos a estos reporta Espinal, (2010); donde la guayaba aumenta el valor de luminosidad (L^*) en los estados pintón y maduro a 63,14 y 67,83 respectivamente, manifestándose en un aclaramiento de la corteza y un cambio de color verde a color amarillo (valor $a^* \approx 0$), siendo el color característico del fruto de guayaba en el estado maduro, donde se presentan las mejores características sensoriales del fruto.

Los valores de a^* presentados por la piel y casco de guayaba se encuentran en un rango positivo, $3,53 \pm 0,06$ y $2,34 \pm 0,72$ (con tendencia a matices rojizos) para CL-L y CR-L, respectivamente; valores similares a Osorio, 2010 donde el valor de a^* es $11,65 \pm 2,52$ (positivo) en estado maduro, indicando que la guayaba variedad regional roja, presenta un aumento de la vividez, con la maduración.

En general, las medidas del color de la piel y casco de guayaba, se encuentran localizadas en valores positivos de a^* y b^* ($43,04 \pm 3,86$ y $44,87 \pm 1,88$ para congelación lenta y rápida, respectivamente). Se observa que la piel y casco disminuye el valor de L^* y b^* , aumentando a^* conforme se desarrolla el proceso de escaldado (Anexo N° 9); sin embargo las muestras de CR-L y CL-L presentan valores de 73,43 y 76,27 respectivamente; esto indica que los procesos tuvieron un efecto notorio en el aumento de la luminosidad en la piel y casco de guayaba, siendo el tratamiento de CR-L el que genera en las muestras deshidratadas una mayor luminosidad (L^*);

Mosquera (et al., 2012), al liofilizar rodaja de naranjas; indica que las muestras congeladas con nitrógeno líquido presentaron mayor luminosidad L^* comparadas con las de congelación convencional.

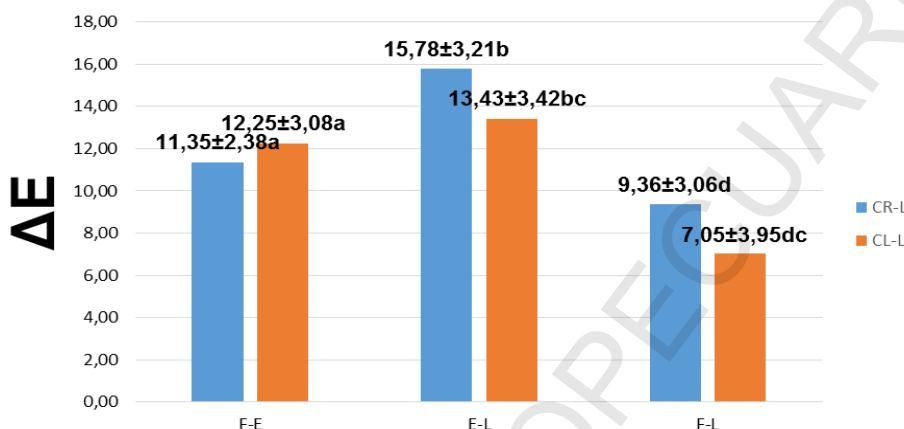


Figura Nº 9. Valores del Cambio de Color promedio en Piel y Casco de Guayaba roja entre los procesos F-E, E-L y F-L; comprende proceso de Congelación lenta (CL) y Congelación Rápida (CR). Gráficamente, letras diferentes indican diferencias significativas en los valores de las medidas realizadas.

Con el fin de cuantificar los cambios globales de color, calculó la diferencia de color (ΔE) (Contreras, 2006). El Cambio de Color entre F-E es cercano en cada uno de los tratamiento CR-L y CL-L, no existiendo diferencia significativa ($\alpha=0,05$), esto lo demuestra los valores de $\Delta E=12,25 \pm 3,08$ y $11,35 \pm 2,38$; para muestras tomadas para CL-L y CR-L, respectivamente. Badui (1991) Los alimentos que se someten a tratamientos termicos, desarrollan diferentes tonalidades de color debido a cambios quimicos inducidos por las diferentes condiciones de procesamiento, principalmente por altas temperaturas; este proceso térmico generó que la piel y casco

escaldada pierda luminosidad y adquirió matices cercanos al rojizo y azul, con a^* y b^* mayores que los mostrados en fresco.

En proceso comprendido entre Escaldado-Congelación-Liofilización, existe diferencia significativa, entre el ΔE de CL-L y CR-L, reportándose respectivamente los valores de $13,43 \pm 3,04$ y $15,78 \pm 3,12$. El Cambio de color global de estudio alcanza un ΔE $7,05 \pm 3,95$ y $9,36 \pm 3,06$ respecto al piel y casco deshidratado y fresco para CL-L y CR-L.

El $\Delta E = 9,36 \pm 3,06$ fresco-congelación rápida-liofilizado, es el cambio de color más alto presentado en esta investigación, lo que afirma que los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) obtenidos por CR-L en la piel y casco de guayaba roja son mayores, a las obtenidas en congelación lenta; esto indica que las muestras congeladas a mayor velocidad presentaron mayor claridad. Ceballos, (et al., 2012) reportan similar comportamiento en la liofilización de guanábana; argumentan que los materiales congelados con mayor velocidad de congelación mantienen un color más cercano al blanco, debido a la formación de pequeños cristales de hielo que dan lugar a pequeños poros que dispersan más la luz que los poros grandes.

3.4.1. Croma y Tono

Ya que el croma (C^*ab) y tono (H^*ab) son combinaciones de las coordenadas a^* y b^* , su comportamiento permite diferenciar más fácilmente la vividez (colorido) y el tono del color para cada variedad y sus estados de madurez. Como se puede apreciar en la figura 9, el croma (C^*ab) presenta un comportamiento descendente a medida que ocurren los procesos de

escaldado y liofilizado, ya que el color cada vez tiene menos vivides (ΔC^*ab de la piel y casco escaldado y liofilizado, para congelación lenta y rápida, tienen valores negativos, Anexo).

Se observaron diferencias significativas entre los valores de C^*ab , para los tratamientos de escaldado y liofilizado respecto a la piel y casco en fresco ($\alpha=5\%$).

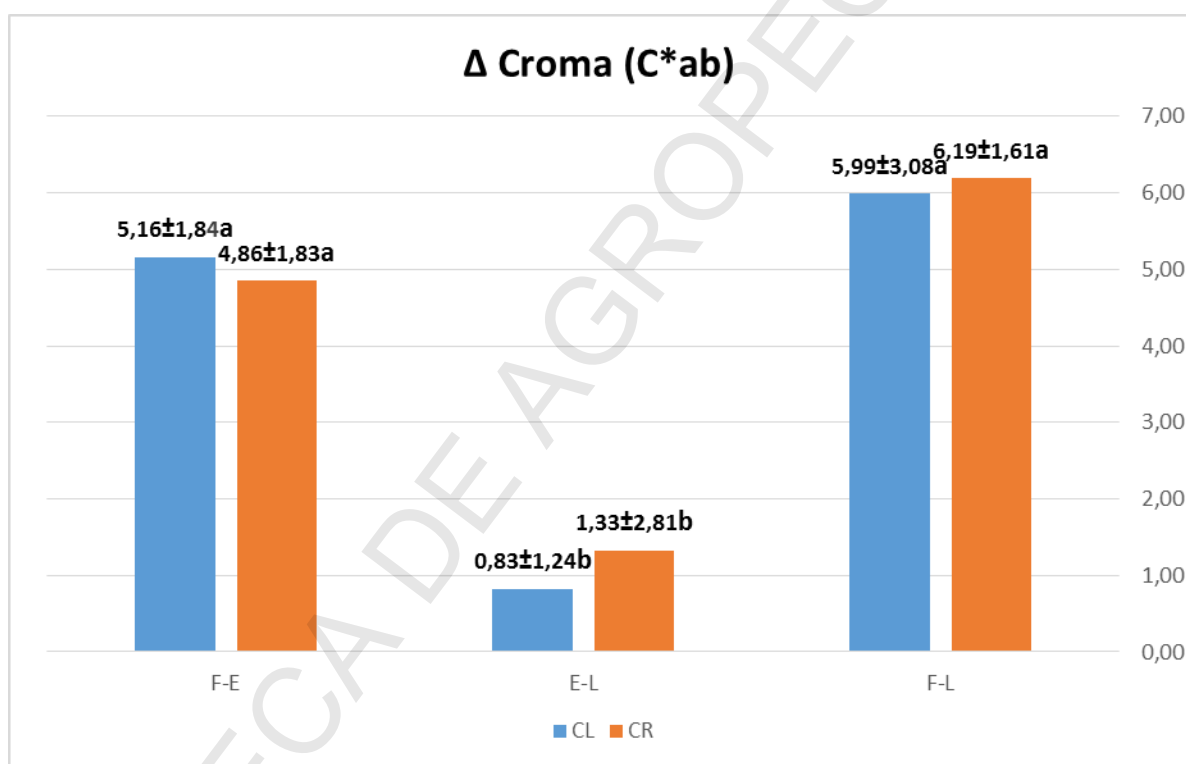


Figura N° 9. Valores negativos del Cambio de Croma C^*ab promedio en Piel y Casco de Guayaba roja entre los procesos F-E, E-L y F-L; comprende proceso de Congelación lenta (CL) y Congelación Rápida (CR). Gráficamente, letras diferentes indican diferencias significativas en los valores de las medidas realizadas.

Y

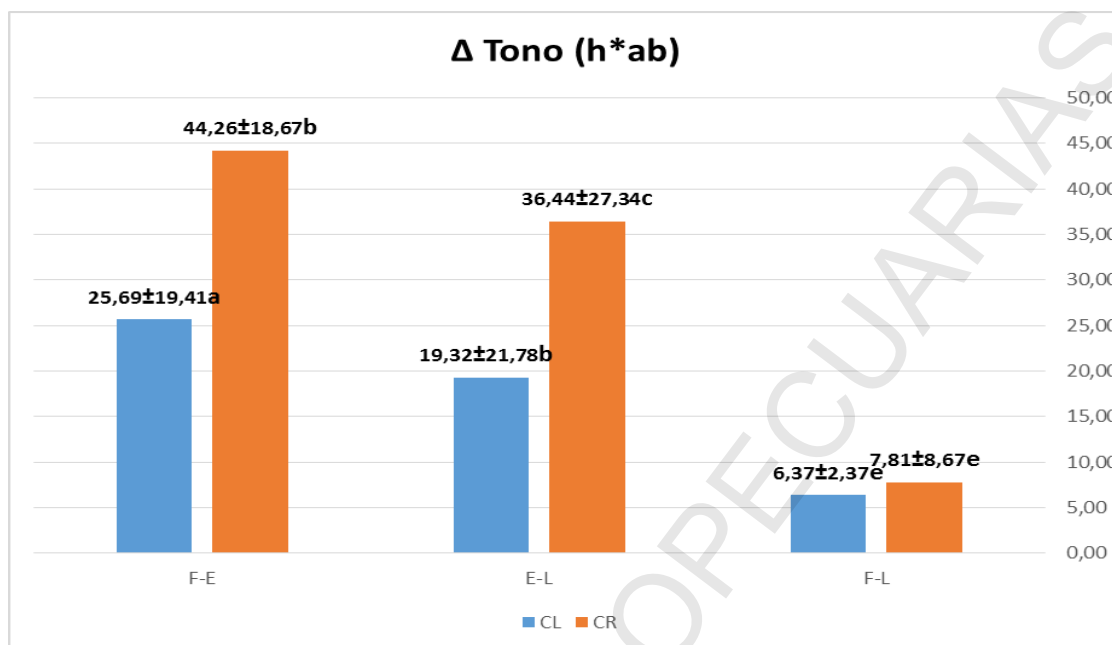


Figura Nº 10. Valores del Cambio de Croma C*ab promedio en Piel y Casco de Guayaba roja entre los procesos F-E, E-L y F-L; comprende proceso de Congelación lenta (CL) y Congelación Rápida (CR). Gráficamente, letras diferentes indican diferencias significativas en los valores de las medidas realizadas.

En contraste, el tono (h_{ab}), el cual define un color cromáticamente, presentó un aumento significativa de más de $6,37 \pm 2,37$ y $7,81 \pm 8,67$, para os tratamientos de congelación lenta y rápida (CL y CR); no existiendo diferencia significativa ($\alpha=5\%$) entre uno y otro.

La piel y casco de guayaba roja, sufre un descenso en la vividez (C^*ab), y su tono (h_{ab}) pasa de amarillo-rojizo a verde-amarillento, al finalizar los tratamientos de Congelación rápida y lenta y liofilizado. Se muestra además que a medida que aumenta el tono (h^*ab), el croma (C^*ab) disminuye.

4. CONCLUSIONES

El método de congelación tiene un efecto significativo sobre el contenido de Vitamina C de piel y casco liofilizado de Guayaba variedad roja, obteniéndose pérdidas del contenido de Vitamina C entre $69,64 \pm 0,43$ y $73,98 \pm 0,30$, para los tratamientos CR-L y CL-Liofilización, respectivamente. Asimismo, se modeló la rehidratación por los modelos de Page, Peleg y Azuara; mostrando todos ellos un buen ajuste (R^2 cercanos a la unidad) para la explicación de la rehidratación de piel y casco. Las constantes Cinéticas del modelo de Page indican que las muestras de CR-L son las muestras con mayor capacidad de rehidratación.

La capacidad de rehidratación (Humedad de equilibrio) en las muestras de CR-L es mayor que las muestras de CL-L según los modelos de Peleg y Azuara; indicando que la piel y casco se rehidrata alcanzando humedades de equilibrio de $1,14 \text{ Kg H}_2\text{O/ kg ss}$ y $1,23 \text{ Kg H}_2\text{O/ kg ss}$ en tiempos comprendidos entre 150 y 290 min.

Existen cambios de color significativo sobre la piel y casco, en los procesos de escaldado, congelación-liofilización. El producto congelado con nitrógeno líquido y liofilizado experimenta un cambio de color, que permiten obtener un producto con mayor claridad; sin embargo no existe diferencia entre un tratamiento y otro, respecto al cambio de C^*ab y h^*ab .

5. BIBLIOGRAFÍA

Ancos, B., Gonzales, E., Cano, M., 2000. Ellagic acid, vitamin C and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, pp. 4565-4570.

Arias, Z., Barajas, J., Hincapié, G., 2013. *Evaluación del aguacate variedad Hass (Persea americana Mill.) deshidratado por liofilización*, Medellín-Colombia: s.n.

Ayala, A., Serna, L., Mosquera, E., 2010. Liofilización de Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 27 Mayo, 17(2), pp. 121-127.

Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H., Beristan, C., 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science and Technology*, 27(4), p. 409-418.

Barbosa-Cánovas, G., Vega, H., 2002. *Deshidratación de Alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia S.A..

Brookfield, P., Murphy, P., Harker, R., MacRae, E., 1997. Starch degradation and starch pattern indices: interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 11, pp. 23-30.

Carreño, J., Martínez, A., Almela, L., Fernández-López, J., 1995. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. 28(4), pp. 373-377.

Ceballos, A., Giraldo, G., Orrego, C., 2012. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *J Food Eng*, 2(111), pp. 360-365.

Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., Orrego, C. E., 2012. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit. *Journal of food engineering*, 1(6).

Contreras, C., 2006. *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*, Tesis Doctoral. Valencia, España.

Dirección General de Salud Ambiental, d. M. d. S. P., 2011. *Recomendaciones para prevenir intoxicaciones alimentarias*. [En línea] Available at: <http://www.digesa.sld.pe/noticias/Julio2011/nota107.asp>.

Espinal, M., 2010. *Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba palmira Ica I (Psidium guajava)*, Bogotá D.C.: s.n.

García-Pascual, P., 2005. Rehydration Process of *Boletus edulis* mushroom: Characteristics and Modelling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volumen 85, pp. 1397-1404.

Gómez, R., 1996. Producción y calidad de frutos de diez variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) para consumo natural e industrial. *El manejo agronómico de la guayaba y su agroindustria* (editor Cortés, R.).

González, A., 2010. *Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (Psidium guajava L.) colombiana.*, Bogotá D.C.: s.n.

Hodge, D., Karim, N., Schell, D., McMillan, J., 2008. Soluble and insoluble solids contributions to high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulose. *Bioresource Technology*, Volumen 99, pp. 8940-8948.

Hung, T., Liu, L., Black, R. & Trehwella, M., 1993. Water absorption in chickpea (*C.Arietinum*) and field pea (*P. Sativum*) cultivars using the Peleg model. *Journal of Food Science*, Issue 58, pp. 848-852.

Luanda, G., Marques, M. C., Ferreira, J., 2006. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L). *Chemical engineering and processing*, pp. 451-461.

Machado, M., Oliveira, F., Gekas, V., R, S., 1999. Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. *International Journal of Food Science and Technology*, Issue 33, pp. 225-237.

Marin, B., Lemus, M., Flores, M., Vega, G., 2006. La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, 3(33), pp. 527-538.

Marques, L. G., Prado, M., Freire., 2008. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *Food science and technology*, pp. 1232-1238.

Marquina, V., Araujo, L., Ruíz, J., Rodríguez-Malaver A, V. P., 2008. Composición química y capacidad antioxidante en fruta, pulpa y mermelada de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 58(1).

Melquíades, Y. I., López, C., Rosas, M. E., 2009. Estudio de la Cinética de Rehidratación de Zanahoria (*Daucus Carota*) Deshidratadas. *Información Tecnológica*, 20(3), pp. 65-72.

Millan, E., Restrepo, L., Narvaéz, C., 2007. *Efecto del escaldado, de la velocidad de congelación y de descongelación.* Bogota(Colombia): s.n.

Mosquera, S., Ayala, A., Ochoa, I., 2012. Influencia de la Congelación con Nitrógeno líquido sobre el Secado de Naranja por Liofilización. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, Enero-Abril, 19(1), pp. S204-S206.

Muñoz Delgado, J. A., 1985. *Refrigeración y congelación de alimentos vegetales*. Madrid-España: Fundación Española de la Nutrición.

Nerd, A., Mizrahi, Y., 1999. The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 15, pp. 99-105.

Orrego, A., Carlos, E., 2004. *Apuntes del Curso Procesamiento de Alimentos: Línea de profundización*. Manizales: s.n.

Peleg, M., 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, Issue 53, pp. 1216-1219.

Pérez Gutierrez, M., Mitchell, S., Vargas Solis, R., 2008. *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of ethno-pharmacology*, 1(27).

Randelovic, D., Vracar, L., Tepic, A., 2008. Colour changes of blackberry as affected by freezing rate. *Acta periodica tecnologica*, pp. 63-68.

Rosenthal, A., 2001. *Textura de los alimentos medida y percepción*. Zaragoza: Editorial Acribia.

Sanjuán, N., Simal, S., Bon, J., Mulet, 1999. Modelling of brocolli items rehydration process. *Journal of Food Engineering*, Volumen 42, pp. 27-31.

Saradhuldhath, P., Paull, R., 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Scientia Horticulturae*, Volumen 112, pp. 297-303.

Sava, B., Serpen, A., Gökmen, V., Akar, J., 2005. Study of lipoxyloxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *J. Food Eng.*, Volumen 66, pp. 187-192.

Selman, J. D., 1994. Vitamin retention during blanching of vegetables. *Food Chemistry*, Volumen 48, pp. 137-147.

Sopade, P., Ajisegiri, E., Badau, M., 1992. The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking. *Journal of Food Engineering*, Issue 15, pp. 269-283.

Vasquez, M., Chenlo, F., Moreira, R., da Riva, P., 2007. *Rehidratación de zanahorias previamente secadas con aire y deshidratadas osmoticamente*. Lugo: s.n.

Vásquez, D., Serpa, A., Castrillón, D., Hincapié, G., 2013. *Evaluación de la Harina de Guayaba como Ingrediente Funcional en Matrices Alimentarias*, s.l.: s.n.

Vega, A., Lemus, R., 2006. Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Información Tecnológica*, 17(3), pp. 23-31.

6. ANEXOS

Anexo N° 1: Determinación de Índice de Madurez

El índice de madurez fue calculado como la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable y fue expresado como °Brix/% Acidez (Espinal Ruiz, 2010).

Los sólidos solubles se midieron sobre la piel y casco de Guayaba, se tomó 10 g de muestra, se tritura de forma manual en un mortero y se exprimió, del líquido obtenido se colocó unas gotas en la luna del refractómetro, procediendo a la lectura a temperatura ambiente y expresando el resultado en °Brix.

La acidez titulable se midió mediante una titulación con una solución estandarizada de hidróxido de sodio 0,1 N, se tomó un 1 g de la piel y casco, se trituro en un mortero; este machacado se diluyo en 10 mL de agua destilada en un matraz, luego se agregó 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0,1N. El porcentaje de acidez se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\% \text{ Acidez} = \left(\frac{N \text{ NaOH} * \text{Vol. NaOH (ml)} * \text{equi. g(acido citrico)}}{\text{Peso Muestra (g)}} \right) * \frac{\text{Vl ml}}{\text{Alicuota}} * 100$$

Las medidas se realizaron por triplicado (n=3).

Anexo N° 2: Determinación de L*, a*, b*, ΔE y ΔC*ab y Δh*ab

La medida de color se realiza sobre el fruto entero (en 4 puntos definidos) (González Cárdenas, 2010), designados tal como se muestra en la Figura N° 1 con un colorímetro de reflectancia Minolta CR-300 pegado a la piel.

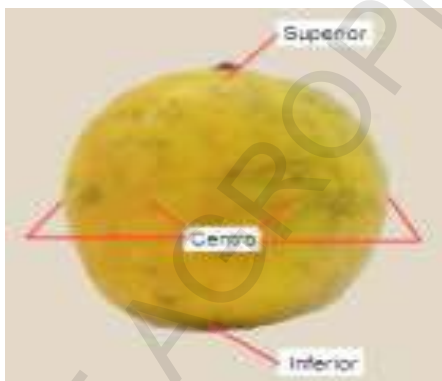


Figura N° 1. Localización de las medidas del color exterior de guayaba variedad roja con el Colorímetro.

Los resultados se expresaran en coordenadas del sistema CIE L*a*b* (Carreño et al. 1995). Los resultados se expresaron en coordenadas del sistema CIE L*a*b* (Carreño, et al., 1995). Se midió esta característica con el Colorímetro sobre la fracción de piel y casco del fruto en fresco, escaldado y liofilizado, se calculó la diferencia de color (ΔE) (Contreras, 2006), mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

Cada medición se realizó por triplicado (n=3).

El color determinado en forma instrumental, por el colorímetro de reflectancia Minolta CR-300, fue reportado en coordenadas triestímulo, correspondientes al espacio CIELAB, las cuales se transformaron en los parámetros psicométricos croma (C) y tono (hue h) teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$C^*_{ab} = ((a^{*2} + b^{*2}))^{1/2}$$

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* > 0 \text{ y } b^* = 0$$

$$h_{ab} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* \leq 0$$

Anexo Nº 3: Cuantificación de Ácido Ascórbico por método de Titulación AOAC (967, 21-2001)

Valoración del 2,6-dicloroindofenol

Se prepara una solución estándar de ácido ascórbico (1 mg/mL). Transferir alícuota de 2 mL a matraz Erlenmeyer, agregando 5 mL de solución ácido Metafosfórico - ácido acético (solución extractora). Titular rápidamente con 2,6 dicloroindofenol en una bureta de 50 mL, hasta que se observe la aparición de un tono rosa ligero. Titular un blanco compuesto por 7 mL de la solución extractora más el volumen gastado en la titulación del estándar en agua, y titular con 2,6-dicloroindofenol, hasta el tono rosa. Todo esto se hace por triplicado. El valor obtenido del estándar se resta del blanco, y la concentración de indofenol se expresa como mg de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de Indofenol.

Determinación del contenido de ácido ascórbico en la muestra

Adicionar a la muestra su misma cantidad en solución extractora y mezclar bien. Se filtra con un embudo y papel filtro para café tipo cesta. Se toma alícuota de 2 ml del filtrado más 5mL de ácido metafosfórico – acético en un matraz Erlenmeyer, y se titula con indofenol hasta el vire rosa. Realizar por triplicado. El volumen registrado de titulación se le resta el gastado en blanco. Se determina el ácido ascórbico:

mg de ácido ascórbico= (Volumen de titulación muestra)/ (Volumen de Titulación estándar)

Cada medición se realizó por triplicado (n=3).

Anexo 4: Determinación de % humedad

Se midió por métodos gravimétricos en una estufa; para ello se pesara una muestra de la piel y casco en su conjunto de guayaba en un crisol previamente tarado, se secan en la estufa a 105°C durante 3 h, al término del tiempo secado se determina el % humedad por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \left[\frac{(p_i - p_f)}{p_i} \right] * 100$$

Anexo 5: Modelos matemáticos de Rehidratación

Dentro de las más utilizadas están: el modelo difusional que utiliza la segunda ley de Fick, ecuación (1), que muestran la transferencia de materia (agua) ocurrida en el proceso de rehidratación (Vasquez, et al., 2007), el modelo empírico de Peleg, ecuación (2), el modelo Azuara, ecuación (3), y el modelo de Page, ecuación (7); los cuales se ha demostrado que simulan correctamente el proceso, además de describir ciertos mecanismos y variables existentes durante el mismo. En la mayoría de los estudios realizados sobre la rehidratación de los alimentos estos modelos son los más usados por presentar parámetros de importancia para la optimización de los procesos:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad \text{Ecuación. (1)}$$

$$X = X_0 + \left[\frac{t}{k_1 + k_2 t} \right] \quad \text{Ecuación. (2)}$$

$$\frac{t}{GA} = \frac{1}{S_1 GA_\infty} + \frac{t}{GA_\infty} \quad \text{Ecuación. (3)}$$

Donde:

- X: contenido de humedad en un determinado tiempo (kg agua/kg ss).
- t : tiempo (min).
- D_{ef} coeficiente de difusión efectivo (m^2/s)

- z distancia unidireccional del centro a la superficie del producto (m).
- X_0 contenido inicial de humedad (kg agua/kg ss).
- S_1 constante de Velocidad relativa para ganancia de agua (1/s).
- GA y GA_{∞} : Ganancia de agua en el tiempo y ganancia de agua en infinito (kg agua/kg ss).

Para el modelo de Peleg con el valor de K_2 y X_0 se calcula el valor de la humedad de equilibrio a partir de la siguiente ecuación:

$$X^* = X_0 + \frac{1}{k_2} \quad \text{Ecuación. (4)}$$

- X_0 , X^* humedad inicial de rehidratación y humedad de equilibrio respectivamente (kg agua/kg ss).
- K_2 constante de Peleg (kg ss/kg de agua)

La expresión de la ley de Fick (ecuación 1) una vez linealizada queda de la siguiente forma para un cilindro finito, en la que para el término de la humedad de equilibrio se usa el valor obtenido mediante el método de Peleg:

$$\log\left(\frac{X - X^*}{X_0 - X^*}\right) = \log 2,040 - (67156 D) t \quad \text{Ecuación. (5)}$$

Donde:

- D : coeficiente de difusión (m^2/s).
- X , X_0 , X^* humedades de la muestra, humedad inicial y humedad de equilibrio respectivamente (kg agua/ kg ss).

Así también para determinar la Difusividad efectiva, el modelo de Azuara se relaciona con la de Crank para placa infinita a través de la siguiente ecuación:

$$\left[\left(\frac{S_1 L}{1 + S_1 t} \right) \cdot \left(\frac{PA_{\infty}^{\text{mod}}}{PA_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \frac{t \pi}{4} = D_{ef} \quad \text{Ecuación. (6)}$$

Donde:

- L: longitud característica (m).
- GA^{mod} y GA^{exp} : Ganancia de agua modificado y experimental (kg agua/kg ss).

Para modelar la rehidratación se utilizara además la ecuación de Page

(Contreras, 2006):

$$\frac{X - X^*}{X_0 - X^*} = \exp(-Nt^K)$$

Ecuación. (7)

Donde:

- N, K: constantes cinéticas del modelo de Page.

Anexo N° 6: Índice de madurez de Piel y Casco de Guayaba Roja. (PyC: Piel y casco; CR y CL: Congelación rápida y lenta). Promedio media(n=3) ± D.E.

<i>N</i>	<i>Congelación Rápida</i>			<i>Congelación Lenta</i>		
	<i>CR</i>			<i>CL</i>		
	<i>Brix</i>	<i>% Acidez</i>	<i>Índice madurez</i>	<i>Brix</i>	<i>%Acidez</i>	<i>Índice madurez</i>
<i>1</i>	9,00	0,65	13,80	8	0,65	12,27
<i>2</i>	8,00	0,59	13,63	9	0,65	13,80
<i>3</i>	9,00	0,65	13,80	8	0,52	15,33
<i>Promedio</i>	8,67	0,63	13,74	8,33	0,61	13,80
<i>Desviación estándar</i>	0,58	0,04	0,10	0,58	0,08	1,53

Anexo N° 7: Humedad de Piel y casco en fresco. Promedio media(n=3) ± D.E.

<i>N</i>	<i>Muestra fresca</i>	<i>Muestra seca (g)</i>	<i>Humedad(K g agua/Kg piel y casco)</i>	<i>% HBS</i>
<i>1</i>	3,8054	0,6114	83,93335786	522,4075891
<i>2</i>	3,2962	0,5579	83,07444937	490,8227281
<i>3</i>	3,7195	0,6165	83,42519156	503,325223
<i>Promedio</i>	-	-	83,48	505,52

Anexo N° 8. Valores de % de de pérdida de Vitamina C, para las etapas : fresco (F)- escaldado (E), escaldado(E) - CR-L (Congelación lenta- liofilización), escaldado (E) - CL-L (Congelación lenta- liofilización), fresco(F) - CR-L (Congelación lenta- liofilización), fresco (F) - CL-L (Congelación lenta- liofilización).

N	ETAPAS				
	F-E	E-CL-L	E-CR-L	F-CL-L	F-CR-L
1	21,92	66,38	60,58	73,75	69,22
2	24,32	66,07	60,46	74,32	70,08
3	22,97	66,09	60,58	73,88	69,63
Promedio	23,07	66,18	60,54	73,98	69,64
Desviación estándar	1,21	0,17	0,07	0,30	0,43

Anexo N° 9. Valores de Humedad en base seca (BS), para piel y casco liofilizado por congelacion rapida y lenta(CR-L y CL-L)

Tratamiento	Placa (g)	Placa + Muestra Fresca (g)	Muestra fresca	Placa +Muestra seca (g)	Muestra seca (g)	Humedad bh	Humedad BS
CR-L	35,829	36,1037	0,2747	36,0693	0,2403	12,5227	14,315
CL-L	38,3355	38,6494	0,3139	38,6141	0,2786	11,2456	12,670

Anexo Nº 10. Pesos de muestras de piel y casco liofilizado, en el proceso de redidratación, para muestras de congelación rápida y lenta. (CR y CL)

N	CONGELACION RAPIDA			CONGELACION LENTA	
	Tiempo (min)	Muestra (g)	Muestra rehidratada (g)	Muestra (g)	Muestra rehidratada (g)
1	0,5	0,22	0,52	0,4333	1,0423
2	1	0,34	0,91	0,4164	1,0968
3	1,5	0,35	0,97	0,5446	1,5601
4	2	0,2	0,55	0,4857	1,4093
5	3	0,31	0,88	0,4353	1,251
6	4	0,37	1,1	0,5966	1,7701
7	5	0,22	0,63	0,5272	1,592
8	10	0,63	1,88	0,4495	1,4574
9	15	0,49	1,54	0,4683	1,5797
10	20	0,25	0,79	0,4022	1,4293
11	30	0,4	1,4	0,5495	2,0734
12	40	0,35	1,23	0,6247	2,3195
13	50	0,37	1,31	0,5429	2,1953
14	70	0,2	0,76	0,4597	1,7619
15	90	0,17	0,78	0,3743	1,7853
16	110	0,12	0,62	0,4254	1,7474
17	150	0,21	1,56	0,4098	2,1685
18	210	0,23	2,69	0,429	2,6989
19	290	0,38	7,76	0,47	7,8685
20	370	0,43	9,63	0,405	25,2761

Anexo Nº 11. Valores de % de agua ganada y humedad B.S, para cada tiempo de rehidratación y tratamiento (CR-L y CL-L)

N	Tiempo (min)	% AGUA GANADA		HUMEDAD (kgH ₂ O/kg SS)	
		CR-L	CL-L	CR-L	CL-L
1	0,5	70,27	70,64	0,95	0,92
2	1	72,80	72,48	0,98	0,94
3	1,5	73,48	74,12	0,98	0,96
4	2	73,33	74,37	0,98	0,96
5	3	73,95	74,19	0,99	0,96
6	4	74,83	74,79	1,00	0,97
7	5	74,12	75,12	0,99	0,97

8	10	74,90	76,43	1,00	0,99
9	15	75,86	77,13	1,01	1,00
10	20	75,96	78,04	1,01	1,01
11	30	77,78	79,05	1,03	1,02
12	40	77,85	78,78	1,03	1,01
13	50	77,98	80,17	1,03	1,03
14	70	79,17	79,31	1,05	1,02
15	90	82,11	82,67	1,08	1,06
16	110	83,78	80,42	1,10	1,03
17	150	88,14	84,11	1,15	1,07
18	210	92,12	86,28	1,20	1,10
19	290	95,33	94,36	1,23	1,19
20	370	95,73	98,42	1,24	1,24

Anexo N° 12: Parámetros de color CIELAB de la Piel y Casco de Guayaba variedad Roja en los estados: Fresco, Escaldado y Liofilizado. Tratamientos CL-L (Congelación lenta-liofilización) y CR-L (Congelación rápida-liofilización). Promedio \pm (D.E)

	CL-L			CR-L		
	Fresca	Escaldada	Liofilizada	Fresco	Escaldado	Liofilizado
L	69,84 \pm 2,99	60,28 \pm 3,03	73,43 \pm 0,38	69,54 \pm 2,39	61,10 \pm 2,98	76,27 \pm 1,06
a*	3,53 \pm 0,06	4,84 \pm 1,62	3,48 \pm 0,18	2,34 \pm 0,73	5,29 \pm 2,38	2,56 \pm 0,05
b*	43,04 \pm 3,87	37,69 \pm 2,00	37,03 \pm 0,76	44,87 \pm 1,88	39,69 \pm 3,48	38,67 \pm 0,26
C*ab	43,19 \pm 3,85	38,02 \pm 2,01	37,20 \pm 0,77	44,94 \pm 1,87	40,08 \pm 3,70	38,75 \pm 0,26
h*ab	46,56 \pm 4,47	72,25 \pm 23,88	52,93 \pm 2,10	29,53 \pm 9,54	73,79 \pm 28,21	37,35 \pm 0,87

Anexo N° 12: Gradientes de Croma (C*ab) y Tono (h*ab) de la Piel y Casco de Guayaba variedad Roja en los estados: Fresco, Escaldado y Liofilizado. Tratamientos CL-L (Congelación lenta-liofilización) y CR-L (Congelación rápida-liofilización). Promedio \pm (D.E)

Etapas	CL-L			CR-L		
	F-E	E-L	F-L	F-E	E-L	F-L
C*ab	-5,16 \pm 1,84	-0,83 \pm 1,24	-5,99 \pm 3,08	-4,86 \pm 1,83	-1,33 \pm 2,81	-6,19 \pm 1,61
h*ab	25,69 \pm 19,41	-19,32 \pm 21,78	6,37 \pm 2,37	44,26 \pm 18,67	-36,44 \pm 27,34	7,81 \pm 8,67